

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторной работы
«ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В РАЗЛИЧНЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ»
по дисциплинам «Системы технологий»,
«Материаловедение. Метрология и технические измерения»**

Харьков 2010

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы

«ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В РАЗЛИЧНЫХ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ»

по дисциплинам «Системы технологий», «Материаловедение. Метрология и
технические измерения»

для студентов машиностроительных и экономических специальностей
дневной и заочной форм обучения

Утверждено
редакционно-издательским
советом университета,
протокол № 1 от 24.06.10 г.

Харьков 2010

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Вимірювання температури в різних технологічних процесах» з дисциплін «Системи технологій», «Матеріалознавство. Метрологія та технічні вимірювання» для студентів машинобудівних та економічних спеціальностей денної та заочної форм навчання / Уклад.: Л.І. Пупань. – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – 20 с. – Рос. мовою.

Укладач Л.І. Пупань

Рецензент Г.К. Крижний

Кафедра «Інтегровані технології машинобудування» ім. М.Ф. Семка

ВВЕДЕНИЕ

Температура играет важную роль в реализации многих технологических процессов в различных отраслях промышленности и областях деятельности – в металлургии, в машиностроении, в тепло- и электроэнергетике, в строительстве, в медицине, при исследовании новых явлений, в бытовой сфере.

Единица температуры – кельвин К — является одной из семи основных единиц, на которых базируется Международная система единиц.

Согласно статистическим данным, около 40 % всех измерений приходится на температурные. В некоторых отраслях народного хозяйства эта доля значительно выше. Так, в энергетике температурные измерения составляют до 70 % общего количества измерений.

Огромное значение имеет температура при контроле, автоматизации и управлении технологическими процессами. Точность соблюдения температурного режима часто определяет не только качество, но и принципиальные возможности применения различных видов продукции (в том числе металлургического производства, сварных конструкций и т.д.).

В современных условиях технологические требования к точности поддержания температуры находятся на уровне высших метрологических достижений.

В данном методическом указании рассматриваются основные температурные шкалы и единицы измерения температуры, соотношение между ними; дана характеристика основных приборов, применяемых для контактного и бесконтактного контроля температуры объектов в различных технологических процессах.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ:

▲ ознакомиться с основными единицами измерения температуры в соответствии с Международной системой единиц СИ (*SI*), а также шкалами, применяемыми в международной практике;

▲ ознакомиться с методикой и приборами для измерения температуры твердых тел контактным и бесконтактным методом.

2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Понятие температуры. Температурные шкалы. Единицы измерения температуры

Под *температурой* (от лат. *temperatura* – смесь, смешение, нормальное состояние) понимают степень нагретости тела, один из основных параметров состояния вещества (твердого, жидкого, газообразного).

Происхождение латинского названия этой физической величины связано с тем, что древние врачи связывали состояние здоровья с теплотой тела. Лекарствам приписывалось согревающее или охлаждающее действие; степень которого определялась ступенями (градусами). Лекарства смешивали между собой, создавали смеси (*temperatura*), которые имели разные градусы.

С физической точки зрения температура равновесной системы характеризует интенсивность теплового движения атомов, молекул и других частиц, образующих систему. Более высокой температурой обладают те системы (тела), у которых средняя кинетическая энергия атомов и молекул выше.

Для измерения температуры вводят *температурные шкалы* – последовательность числовых значений, отражающих совокупность различных по размеру единиц температур.

Для построения температурных шкал используют базовые (реперные) точки – температуры, соответствующие фазовым переходам различных веществ (например, плавление – испарение), расстояние между которыми называют *основным температурным интервалом шкалы*. Размер единичного интервала (единицы температуры) устанавливают как определенную долю основного интервала. За начало отсчета температурных шкал принимают одну из реперных точек.

Так появились следующие шкалы:

▲ с градуировкой в *градусах Цельсия* (°C). Шкала предложена в 1742 г. шведским ученым А. Цельсием. Реперные точки: температура таяния льда (затвердевания воды) – 0 °C, температура кипения воды – 100 °C (большинство климатических процессов, процессов в живой природе и т. д. связаны именно с этим диапазоном). Интервал между температурами таяния льда и кипения воды при нормальном атмосферном давлении (760 мм рт. ст.) разделен на 100 равных частей ($n = 100$);

▲ температурная *шкала Реомюра*. Предложена в 1730 г. французским ученым Р. Реомюром. Единица шкалы Реомюра — градус Реомюра ($^{\circ}\text{R}$). 1°R равен $\frac{1}{80}$ части температурного интервала между реперными точками таяния льда (0°R) и кипения воды (80°R), т. е. $1^{\circ}\text{R} = 1,25^{\circ}\text{C}$. В настоящее время шкала вышла из употребления, дольше всего она сохранялась во Франции, на родине автора;

▲ в температурной *шкале Фаренгейта*, предложенной в 1724 г. немецким физиком Д. Фаренгейтом, реперными точками являются температура таяния смеси льда, соли и нашатыря NH_4Cl (смеси Фаренгейта) — 0°F , температура таяния льда — 32°F , температура кипения воды — 212°F . Температурный интервал между точками таяния льда и кипения воды (при нормальном атмосферном давлении) разделён на 180 частей — градусов Фаренгейта ($^{\circ}\text{F}$). Производной от шкалы Фаренгейта является также шкала Ранкина (Ренкина); $1^{\circ}\text{R}_\text{н} = 1^{\circ}\text{F}$, $t_{\text{Rн}} = t_{\text{F}} + 459,67$.

Температурная шкала представляет собой, таким образом, систему последовательных значений температуры, связанных линейно со значениями измеряемой физической величины (эта величина должна быть однозначной и монотонной функцией температуры). В общем случае температурные шкалы могут различаться по термометрическому свойству (им может быть тепловое расширение тел, изменение электрического сопротивления проводников с температурой и т.п.), по термометрическому веществу (газ, жидкость, твердое тело), а также зависят от реперных точек.

После введения Международной системы единиц СИ (*SI*) применению в международной практике подлежат основные две шкалы — термодинамическая и международная практическая.

Термодинамическая (основная) шкала (принята в 1954 г. X Генеральной конференцией по мерам и весам) не зависит от природы вещества и имеет одну базовую (реперную) точку — тройную точку воды (соответствует устойчивому равновесию трех фаз — твердой, жидкой и газообразной, т.е. льда, воды и пара), которой присвоено значение $273,16\text{ K}$;

В соответствии с Международной системой СИ (*SI*) в качестве основной величины введена так называемая *термодинамическая (абсолютная) температура T* . Эта точка на $0,01^{\circ}\text{C}$ выше температуры плавления льда при нормальном давлении. В качестве второй (нижней границы температурного

интервала) была выбрана точка абсолютного нуля температур (полного прекращения теплового движения атомов и молекул).

Единицей измерения термодинамической температуры является кельвин (по имени автора термодинамической шкалы – английского физика В. Кельвина), составляющий $1/273,16$ часть термодинамической температуры тройной точки воды. Обозначается термодинамическая температура следующим образом: $T = 150 \text{ K}$.

Экспериментальные трудности реализации термодинамической шкалы температур, связанные с погрешностью измерения температуры на современном этапе, привели в 1968 г. к созданию **Международной практической шкалы**, построенной на 11-ти реперных точках – температурах фазовых переходов некоторых чистых веществ. Единицей температурного интервала принят кельвин (К), который с высокой точностью совпадает с градусом Цельсия ($^{\circ}\text{C}$).

В соответствии с Международной практической шкалой интервал или разность температур допускается выражать как в кельвинах (T , К), так и в градусах Цельсия (t , $^{\circ}\text{C}$), причем связь между этими температурами выражается соотношением

$$t = T - T_0, \quad (1)$$

где T_0 – температурный промежуток, на который смещается начало отсчета ($T_0 = 273,15 \text{ K}$), т.е. $0^{\circ}\text{C} = -273,15 \text{ K}$.

В некоторых англоязычных странах (например, в США, Великобритании, Австралии и т.д.) возможно также применение шкал, градуированных в градусах Фаренгейта (t_F , $^{\circ}\text{F}$) и Ранкина (t_{Rn} , $^{\circ}\text{Rn}$).

Соотношение между температурами, измеренными по разным шкалам:

а) шкалой Цельсия и Кельвина: $t (^{\circ}\text{C}) = T - 273,15;$ (2)

б) шкалой Фаренгейта, Кельвина и Цельсия:

$$1^{\circ}\text{F} = 5/9 \text{ K} = 5/9^{\circ}\text{C}. \quad (3)$$

$$T = 5/9 (t_F + 459,67), \quad (4)$$

$$t = 5/9 (t_F - 32), \quad (5)$$

где T – термодинамическая температура Кельвина;

t – температура Цельсия;

t_F – температура Фаренгейта.

в) шкалой Фаренгейта и Ранкина:

$$t_F = t_{Rn} - 459,67. \quad (6)$$

Соотношение между различными температурными шкалами приведено на рис. 2.1, соотношение некоторых характерных температур – в табл. 2.1.

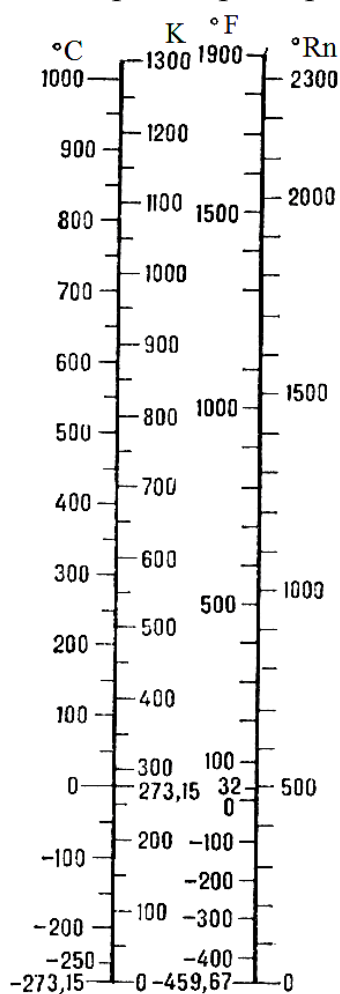


Рисунок 2.1 – Соотношение между различными температурными шкалами в кельвинах (K), градусах Цельсия (°C), Фаренгейта (°F) и Ранкина (°Rn)

Таблица 2.1 – Соотношение некоторых характерных температур, измеренных по разным шкалам

Характерные температуры	Шкала			
	Кельвина	Цельсия	Фаренгейта	Ранкина
Абсолютный ноль	0	-273,15	-459,67	0
Температура таяния смеси Фаренгейта	255,37	-17,78	0	459,67
Температура замерзания воды (нормальные условия)	273,15	0	32	491,67
Средняя температура человеческого тела	310,0	36,6	98,2	557,9
Температура кипения воды (нормальные условия)	373,15	100	212	671,67
Плавление титана	1941	1668	3034	3494
Поверхность Солнца	5800	5526	9980	10440

2.2. Приборы для измерения температуры

Для контроля температуры в различных областях науки, техники, в медицине, в химии, в быту применяют **термометры** – приборы для измерения температуры при контакте с исследуемой средой (телом, веществом) или дистанционно.

Поскольку температура не является непосредственно измеряемой величиной, ее значение определяют по температурному изменению какого-либо удобного для измерения физического свойства вещества.

Действие термометров основано на зависимости физических свойств или размеров веществ, применяемых в качестве рабочей среды, от температуры. Например, объема жидкостей или газов в результате теплового расширения (в жидкостных, газовых, манометрических термометрах); электрического сопротивления металлов (термометр сопротивления) или термоэлектродвижущей силы (термопары); излучения (пирометры).

Термометры градуируют в соответствии с какой-либо температурной шкалой.

Существуют также специальные термометры, входящие в состав измерительных приборов и устройств, например, глубинные, глубоководные, метеорологические и т.д.

В быту, в химической и пищевой промышленности достаточно часто применяют **контактные стеклянные жидкостные и газовые термометры, основанные на свойстве теплового расширения вещества.**

Используемое рабочее вещество (спирт, керосин, ртуть) должно обладать высоким коэффициентом теплового расширения и не смачивать стекло. При этом для точных измерений термометры подобного типа неэффективны, поскольку зависимость расширения рабочего вещества носит приближенный характер. Кроме того, диапазон измеряемых температур с помощью данных приборов ограничен.

Поэтому для проведения точных научных экспериментов, при контроле высокотемпературных процессов, в практике металлургии (например, при термической обработке металла, при нагреве металла для повышения пластичности при обработке давлением), когда температурный режим должен быть точно выдержан, чаще всего применяют следующие методы и приборы контроля температуры:

контактный метод – с помощью термопары;

бесконтактный метод – с помощью пирометра.

Рассмотрим их подробнее.

▲ **Измерение температуры с помощью термопары.**

Термопара (термоэлектрический термометр) – датчик для контроля температуры, представляющий собой электрическую цепь из двух разнородных металлических проводников (термоэлектродов), рис. 2.2 и обеспечивающий измерение электрического сигнала, пропорционального температуре.

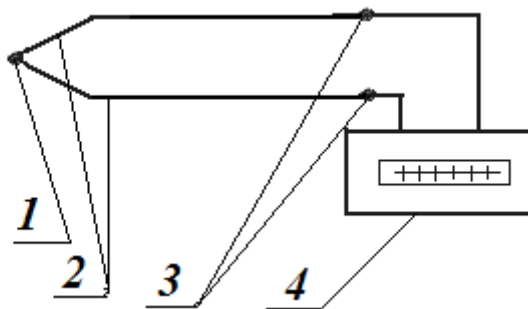


Рисунок 2.2 – Схема для измерения температуры термопарой:

1 – горячий спай; 2 – проводники, образующие термопару; 3 – свободные концы термопары; 4 – милливольтметр

С одного конца эти проводники соединены сваркой или пайкой и образуют так называемый «горячий спай», который должен быть подсоединен к телу, температуру которого необходимо измерить.

Свободные концы термопары присоединены к прибору, позволяющему регистрировать физическую величину (электрический сигнал), возникающую в образованной электрической цепи, которая пропорциональна разности температур горячего спая и свободных концов термопары, например, к милливольтметру. Эта величина называется термоэлектродвижущей силой (термоЭДС), ее возникновение обусловлено термоэлектрическим эффектом, или эффектом Зеебека (выравниванием внутреннего потенциала за счет перемещения электронов из одного проводника в другой при разности температур на концах электрической цепи).

Величина термоЭДС увеличивается при росте температуры и достаточно просто измеряется либо при помощи градуировочных кривых, либо с помощью специальных таблиц.

Для изготовления термопар применяют различные сочетания металлов и сплавов, в том числе благородных, например, хромель (сплав хрома и ни-

келя) - алюмель (сплав алюминия и никеля); медь-константан (сплав меди и никеля); платина-родий; золото-платина.

В качестве термоэлектродов используется проволока диаметром 0,5 мм (благородные металлы) и до 3 мм (неблагородные металлы).

Каждое из таких сочетаний имеет определенные параметры диапазона измеряемых температур, погрешности измерений, свою область применения.

Основные технические требования к термопарам, стандартные таблицы для термоэлектрических термометров, классы допуска и диапазоны измерений приведены в стандарте МЭК 60584-1,2, в ГОСТ 6616-94, а также в ГОСТ 3044-94 (ДСТУ 2837-94).

На рис. 2.3 приведены некоторые виды применяемых в промышленности термопар.



Рисунок 2.3 – Термопары, применяемые в промышленных измерениях

В зависимости от конструкции и назначения различают термопары погружаемые и поверхностные; с обыкновенной, взрывобезопасной, влагонепроницаемой или иной оболочкой (герметичной или негерметичной), а также без оболочки; обыкновенные, виброустойчивые и ударопрочные; стационарные и переносные и т.д.

Удельный вес термопар, применяемых в научных исследованиях, на промышленных предприятиях различного профиля (в том числе металлургических, металлообрабатывающих) составляет более 60 % от общего числа контактных термометров. Термопары могут также применяться для измерения температуры пищевых продуктов, для медицинских исследований и т.д.

Достоинствами приборов подобного типа являются простота, высокая точность измерений ($\pm 0,01^{\circ}\text{C}$), локальность измерений, большой диапазон контролируемых температур ($-200 \dots 2500^{\circ}\text{C}$), невысокая стоимость.

▲ *Измерение температуры с помощью пирометра.*

Кроме контактных методов измерения температуры, в практике промышленных предприятий все большее применение находят методы бесконтактные, с помощью пирометров.

Принцип действия пирометров (от греч. *pyr* – огонь) основан на зависимости теплового излучения нагретых тел, представляющего собой электромагнитные волны различной длины, от температуры. Чем выше температура тела, тем больше энергии оно излучает.

Изначально термин использовался применительно к приборам, предназначенным для измерения температуры визуально, по яркости и цвету сильно нагретого (раскаленного) объекта. В настоящее время смысл несколько расширен, в частности, некоторые типы пирометров (радиационные) измеряют достаточно низкие температуры ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и даже ниже, до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$), при которых тепловое излучение не видно человеческим глазом.

Существует большое разнообразие пирометров, различающихся по принципу действия и устройству, например:

▲ *пирометры оптические*, в которых измеряется энергия в ограниченном фильтром (или приемником) участке спектра (пирометры частичного излучения или яркостные пирометры) с помощью концентрации излучения в оптическом диапазоне с применением элементов классической оптики – линз, зеркал, призм, светофильтров с участием глаза человека (яркость объекта сравнивается с яркостью эталона);

▲ *пирометры суммарного излучения (радиационные)*, регистрирующие полную энергию излучения, температуру оценивают посредством пересчета показателя мощности теплового излучения;

▲ *пирометры цветковые (другое название – мультиспектральные)* позволяют делать вывод о температуре объекта, основываясь на результатах сравнения его теплового излучения в различных спектрах и т.д.

Схема оптического пирометра (пирометра с «исчезающей нитью») приведена на рис. 2.4.

Принцип действия оптического пирометра основан на измерении температуры тела по яркости его свечения при сравнении ее с яркостью эталона – лампы с вольфрамовой нитью.

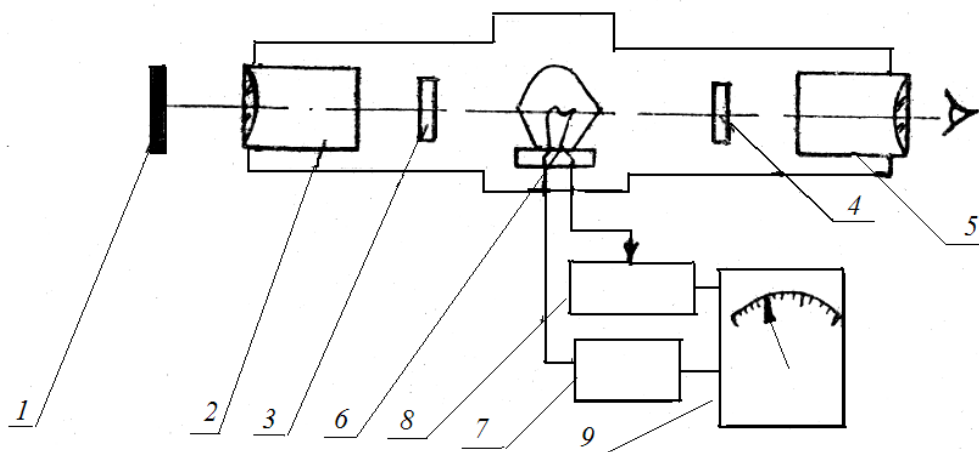


Рисунок 2.4 – Схема оптического пирометра с «исчезающей нитью»:
 1 – заготовка; 2 – объектив; 3 – матовое стекло; 4 – красный светофильтр;
 5 – окуляр; 6 – лампа накаливания; 7 – источник постоянного тока; 8 – реостат;
 9 – миллиамперметр

Лучи света от нагретой заготовки 1 попадают на объектив 2, который находится на торце зрительной трубы, матовое стекло 3, красный светофильтр 4 (позволяет рассматривать в лучах определенного цвета нить лампы на фоне изображения раскаленного тела) и окуляр 5.

Изображение заготовки фокусируется в плоскости нити электрической лампы накаливания с вольфрамовой нитью 6, которая питается от источника постоянного тока 7. Сила тока может регулироваться с помощью реостата 8, что позволяет изменять степень накаливания лампы и, таким образом, цвет нити. Сила тока подбирается такой, чтобы цвет нити стал одинаков с цветом нагретого тела (т.е. она как бы «исчезает»). Считают, что при этом достигается равенство температур тела и нити.

Лампа соединена с миллиамперметром, проградуированном в градусах, что позволяет определить температуру заготовки.

Пределы измерения температуры оптическим пирометром составляют 700...6000 °C.

Для снижения субъективного фактора при определении температуры с помощью оптического пирометра (участия человеческого глаза) в настоящее время используют фотоэлементы. При этом быстродействие прибора увеличивается до $10^{-2} \dots 10^{-6}$ с.

По типу регистрации информации пирометры могут быть текстово-цифровыми (измеряемая температура выражается в градусах на цифровом

дисплее), с графическим методом регистрации.

Некоторые модели пирометров представлены на рис. 2.5.

Использование современной элементной базы существенно расширило возможности этих приборов и позволило наделить их новыми свойствами – помимо измерения, они могут теперь проводить обработку полученной информации и осуществлять сложные действия по управлению технологическим процессом. Снизился их вес, уменьшились габариты, приборы стали проще и удобнее в эксплуатации, повысилась точность приборов.

Некоторые модели портативных пирометров очень удобны для выборочной, поточечной проверки температуры – их малый размер позволяет поместить их в карман или носить на поясе. Большинство пирометров оснащено лазерным прицелом, который помогает измерять малые объекты с оптимальных расстояний, даже в условиях низкой освещенности. Температура объектов размером ~ 5 мм может измеряться с расстояния до 3 м.



Рисунок 2.5 – Современные модели пирометров

Пирометры как бесконтактные измерители температуры являются незаменимыми элементами систем контроля и управления в целом ряде отраслей промышленности – металлургической, машиностроительной, электронной, химической, медико-биологической и т.д.

Их применение в ряде случаев является не только более предпочтительным по сравнению с термопарой, но и единственно возможным.

Например, при измерении температуры объектов (твердых – металлических, полимерных; жидких; газообразных), контакт с которыми затруднен или невозможен (металл в печи, струя металла при выпуске из печи, плазменная струя); при измерении температуры движущихся объектов (сли-

ток в процессе прокатки); при измерении температуры объектов, находящихся в опасных зонах (подстанции высокого напряжения). Дистанция до объекта, температура которого измеряется, может составлять от 1 до 30 м.

Пирометры принципиально не имеют ограничения верхнего предела измерений, применяются для контроля высоких и сверхвысоких температур (при температурах выше 3000 °С это практически единственный метод измерения температуры), а также для измерения температуры агрессивных сред, при автоматизации процесса. Важной характеристикой пирометров является также их быстродействие.

Дополнительными преимуществами пирометров по сравнению с контактными методами измерения температуры является отсутствие искажения температурного поля объекта контроля, что особенно актуально при измерении температуры материалов с низкой теплопроводностью (дерево, пластик и т.д.), а также риска повреждения поверхности и формы в случае пластичных объектов (присоединение термопары может вызвать деформацию объектов).

Погрешность измерений, выполненных с помощью пирометра, составляет ~ 1...1,5 %.

Области применения пирометров:

- контроль температуры различных производственных процессов, в том числе металлургических и металлообрабатывающих;
- теплоэнергетика: котлы, турбины, бойлеры, теплотрассы, паропроводы;
- электроэнергетика: трансформаторы, кабели, контакты, шины под напряжением;
- электроника: контроль температуры элементов и деталей;
- диагностика двигателей внутреннего сгорания;
- диагностика и профилактика авто- и железнодорожного транспорта;
- строительство: обследование зданий и сооружений;
- системы отопления, вентиляции и кондиционирования;
- обследование холодильной техники;
- оснащение пожарных бригад;
- космонавтика;
- контроль условий хранения и перевозки пищевых продуктов.

3. ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

В данной работе используется *заготовка из стали*, которая нагревается электроконтактным методом (путем пропускания через нее электрического тока). Для контроля температуры заготовки используется термопара хромель-алюмель (диапазон измеряемых температур 0...1300 °C); пирометр оптический.

4. ХОД ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Ознакомиться с общими сведениями, п. 2.1.

Используя исходные данные, приведенные в табл. 4.1, указать:

- а) тип шкалы, в которой приведено значение температуры, обозначение температуры;
- б) пользуясь соотношениями (2)...(6), перевести указанное значение температуры в значения, измеренные по другим, описанным в методическом указании шкалам;
- в) проверить полученные значения температуры по шкале, приведенной на рис. 2.1.

Таблица 4.1 – Исходные данные для выполнения п. 1

№ варианта	Значение температуры	№ варианта	Значение температуры
0	32 °C, 450 K	16	56 °C, 568 ° F
1	48 ° F, 96 °C	17	1083 °C, 3250 K
2	273 K, 67 ° Rn	18	1671 °C, 325 ° F
3	- 96 °C, 300 K	19	12 ° Rn, 2560 K
4	155 K, 120 ° F	20	175 °C, 1500 ° Rn
5	0 °C, 78 K	21	327 °C, - 100 ° F
6	5 ° Rn, - 32 ° F	22	-12 °C, 245° Rn
7	660 °C, 115 K	23	3 K, 3 °C
8	1539 °C, 248 K	24	- 67 ° F, 689 K
9	5 °C, 104 K	25	111 °C, 500 ° F
10	128 K, - 128 °C	26	24 °C, 24 ° F
11	3420 °C, 36 K	27	650 °C, 320 K
12	95 K, - 44 ° F	28	100 °C, 100 ° Rn
13	16 ° Rn, 99 K	29	87 ° Rn, 129 ° F
14	36 °C, 75 ° Rn	30	300 K, 32 ° F
15	89 ° Rn, 212 ° F		

Пример выполнения п.2 для варианта №0:

- заданное значение температуры 32 °С указано в градусах Цельсия, обозначение $t = 32\text{ °С}$; значение 450 К указано в градусах Кельвина, обозначение $T = 450\text{ К}$;

- перевод значения $t = 32\text{ °С}$ в другие шкалы:

шкала Кельвина; из соотношения (2) находим $T = 273,15 + 32 = 305,15\text{ К}$;

шкала Фаренгейта; из соотношения (5) находим: $t_F = 9/5 t + 32 = 1,8 \cdot 32 + 32 = 89,6\text{ °F}$;

шкала Ранкина; из соотношения (6) находим $t_{Rn} = 89,6 + 459,67 = 549,27\text{ °Rn}$;

- перевод значения $T = 450\text{ К}$ в другие шкалы:

шкала Цельсия; из соотношения (2) находим $t = 450 - 273,15 = 176,85\text{ °С}$;

шкала Фаренгейта; из соотношения (4) находим $t_F = 9/5 T - 459,67 = 1,8 \cdot 450 - 459,67 = 350,33\text{ °F}$;

шкала Ранкина; из соотношения (6) находим $t_{Rn} = 350,33 + 459,67 = 810\text{ °Rn}$.

2. Ознакомиться с общими сведениями, п. 2.2.

3. Произвести нагрев стальной заготовки электроконтактным методом.

4. Определить температуру заготовки с помощью термопары хромель-алюмель:

- измерить величину термоэлектродвижущей силы (термоЭДС) с помощью милливольтметра;

- с помощью приведенной в Приложении градуировочной таблицы перевести измеренное значение термоЭДС в значение температуры в градусах Цельсия.

3. Измерить температуру заготовки с помощью оптического пирометра.

4. Сравнить измеренные температуры, внести их в отчет.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.

2. Краткие теоретические сведения.

3. Расчет значений температуры, измеренной по разным шкалам, в соответствии с индивидуальным заданием.
4. Схема термопары и пирометра.
5. Сравнительные данные по измерению температуры тела контакт-ным и бесконтактным методами (термопарой и пирометром).
6. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Каков физический смысл температуры и каково происхождение названия этой величины?
2. Что представляют собой температурные шкалы и каков принцип их построения?
3. Какие шкалы для измерения температуры Вам известны?
4. Что представляет собой термодинамическая (основная) шкала?
5. В каких единицах выражают температуру в соответствии с Международной практической шкалой?
6. Какие дополнительные шкалы допустимы в англоязычных странах?
7. Какова связь между значениями температуры, измеренной по шкале Цельсия и Кельвина?
8. Какова связь между температурой, измеренной по шкале Цельсия и Фаренгейта?
9. Что представляют собой приборы для измерения температуры и на чем основано их действие?
10. Как устроена термопара и в каких областях промышленности она применяется?
11. На чем основан принцип действия термопары?
12. Из каких металлов и сплавов состоит термопара?
13. Как определяют температуру с помощью термопары, почему этот метод относится к контактному?
14. В чем преимущества пирометра по сравнению с термопарой?
15. В каких производственных процессах предпочтительным является применение бесконтактных методов измерения температуры?
16. Каковы основные области применения пирометров для контроля температуры и температурного режима?
17. Какие типы пирометров Вам известны?
18. В чем принцип работы оптического пирометра?

19. Какова погрешность измерений температуры термопарой и пирометром?
20. Каков диапазон температур, измеряемых с помощью термопары и пирометра?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Линеверг Ф. Измерение температуры в технике: Справочник. – М.: Металл., 1980.
2. Олейник В.Н., Лаздина С.И., Лаздин В.П. и др. Приборы и методы температурных измерений. – М.: Изд-во стандартов, 1987.
3. Температурные измерения: Справочник. — Киев: Наукова думка, 1989, 703 с.
4. Методические указания к лабораторной работе «Нагрев металла и приборы для измерения температуры» по курсу «Технология конструкционных материалов» / Кононенко В.И., Пупань Л.И., Крыжный Г.К. и др. – Харьков: ХГПУ, 1994.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Стандартная градуировочная таблица термоЭДС термопары хромель-алюмель при температуре свободных концов 0 °С

Температура горячего спая, °С	ТермоЭДС, мВ									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	0,00	0,40	0,80	1,20	1,61	2,02	2,43	2,85	3,26	3,68
100	4,10	4,51	4,92	5,33	5,73	6,16	6,53	6,93	7,33	7,73
200	8,13	8,53	8,93	9,34	9,74	10,15	10,56	10,97	11,38	11,80
300	12,21	12,62	13,04	13,45	13,87	14,30	14,72	15,14	15,56	15,99
400	16,40	16,83	17,25	17,67	18,09	18,51	18,94	19,37	19,79	20,22
500	20,65	21,08	21,50	21,93	22,35	22,78	23,21	23,63	24,06	24,49
600	24,91	25,33	25,76	26,19	26,61	27,04	27,46	27,88	28,30	28,73
700	29,15	29,57	29,99	30,41	30,83	31,24	31,66	32,08	32,49	32,90
800	33,32	33,72	34,13	34,55	34,95	35,36	35,76	36,17	36,57	36,97
900	37,37	37,77	38,17	38,57	38,97	39,36	39,76	40,15	40,54	40,93
1000	41,32	41,71	42,09	42,48	42,88	43,26	43,64	44,02	44,40	44,78
1100	45,16	45,54	45,91	46,29	46,66	47,03	47,40	47,77	48,14	48,50
1200	48,87	49,23	49,59	49,95	50,31	50,67	51,02	51,38	51,73	52,08
1300	52,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Навчальне видання

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи
«Вимірювання температури в різних технологічних процесах»
з дисциплін «Системи технологій», «Матеріалознавство. Метрологія та
технічні вимірювання»
для студентів машинобудівних та економічних спеціальностей
денної та заочної форм навчання

Російською мовою

Укладач ПУПАНЬ Лариса Іванівна

Відповідальний за випуск А.І. Грабченко

Роботу до видання рекомендував О.М.Шелковой

В авторській редакції

План 2010 р., поз. .

Підп. до друку 24.06.10р. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний. Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 0,95. Обл.-вид. арк. 1,2. Наклад 20 прим. Зам. № 116. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Центр оперативної поліграфії.

Свідоцтво про державну реєстрацію № 2 480 017 0000 058086 від 06.12.2001 р.
61024, Харків, вул. Пушкінська, 63